

УДК 629.735.05:004(045)

О.А. Сущенко, канд. техн. наук, доц.
Д.О. Луцко, асп.
Є.О. Єрмакова, студ.

ОСОБЛИВОСТІ МАТЕМАТИЧНОГО ОПИСУ СИСТЕМИ СТАБІЛІЗАЦІЇ ТА ВИЗНАЧЕННЯ КУРСУ РУХОМОГО ОБ'ЄКТА

Проаналізовано основні особливості математичного опису системи стабілізації та визначення курсу рухомих об'єктів. Запропоновано підходи до врахування кутової швидкості основи, на якій встановлюються навігаційні датчики, наявності різних режимів роботи системи досліджуваного типу та наявності електронних та обчислювальних пристроїв у сучасних системах.

Features of the mathematical description of the system for moving object stabilization and course determination. The basic features of the mathematical formulation of the system for moving object stabilization and course determination are analysed. Approaches to taking into account of the angular rate of base, on which navigation sensors are mounted, large number of operation modes of the system to be studied and presence of the electronic and computing devices in the modern systems are suggested.

Постановка проблеми

Останнім часом системи стабілізації та визначення курсу широко застосовуються в керуванні рухомими об'єктами різного призначення. Крім визначення орієнтації рухомого об'єкта в просторі ці системи можуть виконувати функції визначення поточних координат та швидкості об'єкта, тобто функції інерціальної навігаційної системи. Такі системи зберігають усі переваги інерціальних навігаційних систем, а саме автономність, перешкодозахищеність, широкий діапазон вимірювань, залишаючись при цьому більш дешевими та простими в експлуатації.

Такий підхід до розвитку навігаційних систем відповідає сучасним світовим тенденціям.

Дотепер у разі необхідності забезпечення високої точності визначення навігаційних параметрів використовують системи платформного типу, в яких система координат жорстко зв'язана з рухомих об'єктом, моделюється за допомогою гіростабілізованої платформи. Висока точність визначення навігаційних параметрів таких систем зумовлюється більш сприятливими умовами роботи чутливих елементів, більш простими алгоритмами визначення навігаційних параметрів та відповідно можливістю використання додаткових алгоритмічних засобів підвищення точності вимірюваних навігаційних параметрів.

Отже, використання платформних систем із традиційними чутливими елементами актуальне і на сучасному етапі розвитку засобів навігації та керування рухомими об'єктами, особливо водного транспорту.

У наш час до систем стабілізації та визначення курсу рухомого об'єкта висувуються вимоги значного розширення їх функціональних можливостей з одночасним зменшенням маси та габаритів.

Розв'язання цієї проблеми можливе за умови використання електронних та обчислювальних пристроїв, що також має відповідно відображатись у математичному описі. Урахування таких пристроїв значно ускладнює модель системи визначення курсу, та подовжує час математичного моделювання. Тому найбільш доцільно використовувати такі моделі для дослідження властивостей перехідних процесів в усталених режимах.

Створення математичної моделі з урахуванням руху платформи, моделей усіх чутливих елементів і моделей електронних та обчислювальних пристроїв дозволяє вирішувати важливі проблеми створення сучасних систем визначення курсу, наприклад проблему вибору дискретності оброблення навігаційної інформації за умови досягнення вимог до точності та урахування особливостей чутливих елементів, що входять до складу навігаційної системи. Математичний опис досліджуваної системи має також враховувати наявність різноманітних режимів її роботи.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Особливості створення моделей систем та приладів, призначених для визначення курсу рухомих об'єктів, розглядаються в багатьох роботах [1; 2]. У роботі [1] пропонується спрощена модель гіроскопа з динамічним настроюванням із урахуванням його застосування в навігаційних системах. У роботі [2] окремо розглядаються задачі стабілізації платформи у площині горизонту та визначення курсу рухомого об'єкта. При цьому досліджуються рівняння руху гіровертикалі та курсового гіроскопа відповідно за умови деяких припущень. Рівняння ж руху самої платформи не розглядаються, що, безумовно, призводить до спрощення моделі. У роботах [3; 4] розглядаються особливості керування системою досліджуваного класу для деяких режимів роботи.

Мета роботи – розгляд особливостей математичного опису системи стабілізації та визначення курсу рухомого об'єкта. Головними особливостями запропонованого підходу до створення математичного опису системи досліджуваного класу є урахування кутового руху основи, тобто стабілізованої платформи, та включення до складу математичного опису системи моделей усіх чутливих елементів та електронних і обчислювальних пристроїв, а також урахування всіх можливих режимів роботи системи. Такий підхід дозволяє створити детальну математичну модель зазначеної системи та провести математичне моделювання у повному обсязі.

Математичний опис системи стабілізації та визначення курсу рухомого об'єкта

Створення повного математичного опису системи стабілізації та визначення курсу рухомих об'єктів потребує розв'язання низки основних проблем, серед яких передусім потрібно визначити необхідність:

- урахування руху основи, на якій встановлюються датчики навігаційної інформації у разі використання платформних систем визначення курсу, що потребує створення відповідних моделей, які б містили рівняння руху самої платформи, а також відповідні кінематичні співвідношення;
- урахування наявності значної кількості режимів системи стабілізації та визначення курсу, які характеризуються різним призначенням, різним складом пристроїв та відповідно різними особливостями керування;
- окремого дослідження та відповідно математичного опису навігаційних і стабілізаційних контурів системи;
- дослідження систем із урахуванням наявності електронних пристроїв, де одним з основних завдань є визначення дискретності оброблення інформації.

Підходи до розв'язання зазначених проблем доцільно розглянути на прикладі найбільш складної з точки зору математичного опису платформної системи. Урахування рівнянь руху платформи може бути здійснено на підставі теореми змінування кінетичного моменту твердого тіла [5]. При цьому мають враховуватись усі кінематичні співвідношення досліджуваної системи:

$$\frac{dK_{zп}}{dt} + \omega_{xп} K_{yп} - \omega_{yп} K_{xп} = M_{zп}; \quad (1)$$

$$\frac{dK_{xв}}{dt} + \omega_{yв} K_{zв} - \omega_{zв} K_{yв} = M_{xв}; \quad (2)$$

$$\frac{dK_{yн}}{dt} + \omega_{zн} K_{xн} - \omega_{xн} K_{zн} = M_{yн}. \quad (3)$$

Кінетичні моменти, що входять до складу виразів (1), визначаються такими співвідношеннями:

$$\begin{aligned} K_{xп} &= I_{xп} \omega_{xп}; \\ K_{yп} &= I_{yп} \omega_{yп}; \\ K_{zп} &= I_{zп} \omega_{zп}; \\ K_{xв} &= I_{xв} \omega_{xв} + K_{xп} \cos \gamma - K_{yп} \sin \gamma; \\ K_{yв} &= I_{yв} \omega_{yв} + K_{yп} \cos \gamma + K_{xп} \sin \gamma; \\ K_{zв} &= I_{zв} \omega_{zв} + K_{zп}; \\ K_{xн} &= I_{xн} \omega_{xн} + K_{xв}; \\ K_{yн} &= I_{yн} \omega_{yн} + K_{yв} \cos \beta - K_{zв} \sin \beta; \\ K_{zн} &= I_{zн} \omega_{zн} + K_{zв} \cos \beta + K_{yв} \sin \beta, \end{aligned} \quad (4)$$

де $K_{xн}, K_{yн}, K_{zн}, I_{xн}, I_{yн}, I_{zн}, \omega_{xн}, \omega_{yн}, \omega_{zн}$ – кінетичні моменти, моменти інерції та кутові швидкості зовнішньої рами карданового підвісу платформи;

$K_{xв}, K_{yв}, K_{zв}, I_{xв}, I_{yв}, I_{zв}, \omega_{xв}, \omega_{yв}, \omega_{zв}$ – кінетичні моменти, моменти інерції та кутові швидкості внутрішньої рами карданового підвісу платформи;

$K_{xп}, K_{yп}, K_{zп}, I_{xп}, I_{yп}, I_{zп}, \omega_{xп}, \omega_{yп}, \omega_{zп}$ – кінетичні моменти, моменти інерції та кутові швидкості платформи з встановленими на ній гіроскопами та акселерометрами.

Підставивши кінетичні моменти (4) у рівняння руху платформи (1), (2), (3), можна отримати рівняння руху платформи щодо власної осі, внутрішньої осі карданового підвісу, зовнішньої осі карданового підвісу відповідно:

$$\begin{aligned} I_{zп} \dot{\omega}_{zп} + (I_{yп} - I_{xп}) \omega_{xп} \omega_{yп} &= M_{zп}; \\ I_{xв} \dot{\omega}_{xв} + (I_{zв} - I_{yв}) \omega_{yв} \omega_{zв} + I_{zп} \omega_{yв} \omega_{zп} &+ \\ + (I_{xп} \dot{\omega}_{xп} - I_{yп} \omega_{zв} \omega_{yп}) \cos \gamma - & \\ - (I_{yп} \dot{\omega}_{yп} + I_{xп} \omega_{zв} \omega_{xп}) \sin \gamma &= M_{xв}; \\ I_{yн} \dot{\omega}_{yн} + I_{yв} \dot{\omega}_{yв} \cos \beta + I_{yп} \dot{\omega}_{yп} \cos \gamma \cos \beta + & \\ + I_{xп} \dot{\omega}_{xп} \sin \gamma \cos \beta - I_{zв} \dot{\omega}_{zв} \sin \beta - I_{zп} \dot{\omega}_{zп} \sin \beta + & \\ + (I_{xн} - I_{zн}) \omega_{xн} \omega_{zн} + I_{xв} \omega_{xв} \omega_{zн} + I_{xп} \omega_{xп} \omega_{zн} \cos \gamma - & \\ - I_{yп} \omega_{zн} \omega_{yп} \sin \gamma - I_{zв} \omega_{xн} \omega_{zв} \cos \beta - I_{zп} \omega_{xн} \omega_{zп} \cos \beta - & \\ - I_{yв} \omega_{xн} \omega_{yв} \sin \beta - I_{yп} \omega_{yп} \omega_{xн} \cos \gamma \sin \beta - & \\ - I_{xп} \omega_{xн} \omega_{xп} \sin \gamma \sin \beta &= M_{yн}. \end{aligned}$$

Після виконання всіх підстановок, у т. ч. врахування виразів для кутової швидкості платформи, рівняння її кутового руху можуть бути отримані в остаточному вигляді. Розглянутий підхід, хоча й урахує всі особливості руху платформи, призводить до надзвичайно громіздких співвідношень. Але можливий простіший підхід, коли не береться до уваги різниця між моментами інерції відносно різних осей карданового підвісу. У цьому випадку кутовий рух платформи може бути описаний такими співвідношеннями:

$$\begin{aligned} \dot{\omega}_{xp} &= [-(J_z - J_y)\omega_{yp}\omega_{zp} - f_x\omega_{xp} - M_o \text{sign}\omega_0 - \\ &- k_1\beta_\Gamma] / J_x; \\ \dot{\omega}_{yp} &= [-(J_x - J_z)\omega_{xp}\omega_{zp} - f_y\omega_{yp} - M_o \text{sign}\omega_0 - \\ &- k_2\alpha_\Gamma] / J_y; \end{aligned} \quad (5)$$

$$\dot{\omega}_{zp} = [-(J_y - J_x)\omega_{xp}\omega_{yp} - f_z\omega_{zp} - M_o \text{sign}\omega_0] / J_z,$$

де J_x, J_y, J_z – осьові моменти інерції платформи;

f_x, f_y, f_z – моменти в'язкого тертя;

M_o – момент опору стабілізуючих двигунів;

ω_0 – зовнішня кутова швидкість, що діє на платформу;

k_1, k_2 – коефіцієнт передачі.

Важливою особливістю повного математичного опису системи досліджуваного типу є урахування усіх можливих режимів роботи системи, які суттєво відрізняються між собою як складовими елементами, так і особливостями керування. У цьому випадку повна математична модель системи стабілізації та визначення курсу рухомого об'єкта має складатись із сукупності математичних моделей системи в основних режимах її роботи, а саме: попереднього приведення до горизонту, точного приведення до горизонту, гіроскопичного компаса та гіроазимута. Модель системи визначення курсу в режимі попереднього приведення до горизонту складається з рівнянь руху платформи та рівнянь акселерометрів. Модель системи визначення курсу в режимі точного приведення до горизонту складається з рівнянь руху платформи, рівнянь гіровертикалі на основі гіроскопа із динамічним настроюванням та рівнянь акселерометрів. Найбільш складною є модель в режимі гіроскопичного компаса (або гіроазимута), яка складається з рівнянь руху платформи, рівнянь гіровертикалі та вимірювача курсу і акселерометрів. При цьому враховуються особливості управління цих режимів [3; 4], які розрізняються складом датчиків, основними функціями, точнісними вимогами.

На рис. 1 показано взаємозв'язок різних моделей, у т. ч. моделей платформи, датчиків кінематичних параметрів та електронних пристроїв.

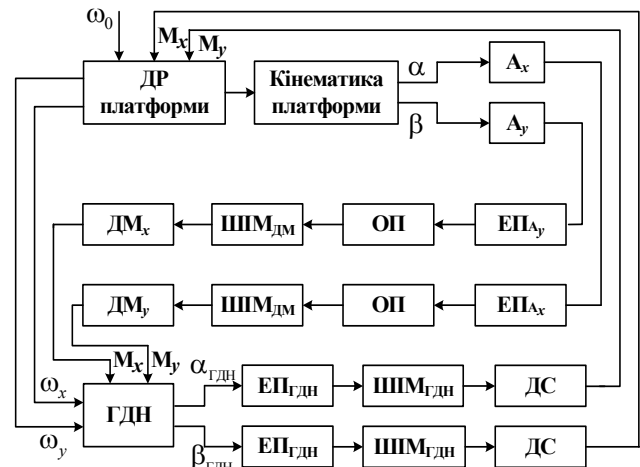


Рис. 1. Структурна схема математичної моделі системи стабілізації та визначення курсу в режимі точного приведення до горизонту:

- А – акселерометр;
- ОП – обчислювальний пристрій;
- ЕП – електронний пристрій;
- ГДН – гіроскоп із динамічним настроюванням;
- ШМ – широтно-імпульсний модулятор

Для розглянутої моделі кутове положення платформи в просторі визначається кутами α, β, γ , як це показано на рис. 2.

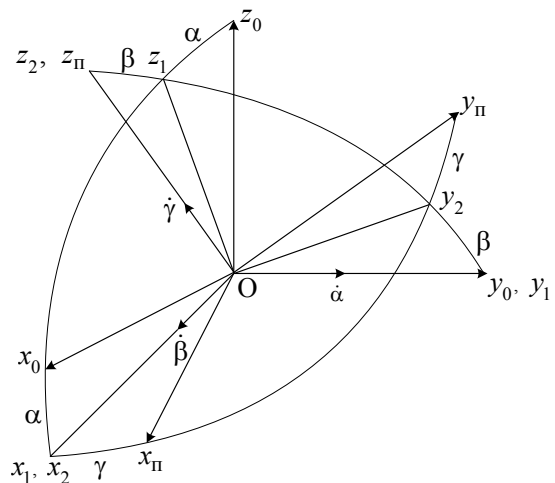


Рис. 2. Кутове положення платформи в просторі

Похибки стабілізації платформи визначаються кутами її відхилення від площини горизонту α, β , а кут γ характеризує кутовий рух платформи в азимуті. При цьому використовуються такі системи координат:

- опорна система координат $Ox_0y_0z_0$;
- система координат, пов'язана з платформою, $Ox_{пу}y_{пу}z_{пу}$.

Взаємне розташування систем координат, пов'язаних із платформою та гіроскопічним приладом, який виконує функції гіровертикалі, зображено на рис. 3.

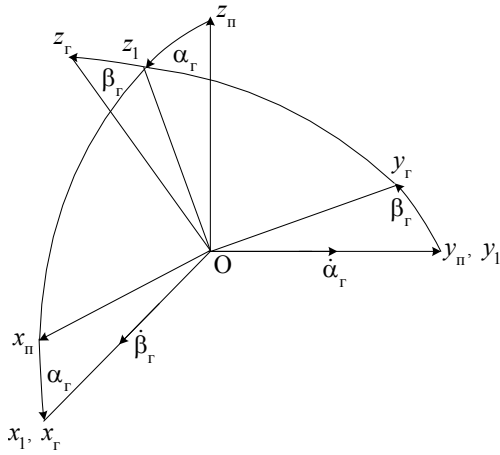


Рис. 3. Взаємне розташування систем координат, пов'язаних із платформою та гіровертикаллю

На рис. 3 вихідною системою координат є система координат $Ox_p y_p z_p$, пов'язана з платформою. Система координат $Ox_g y_g z_g$ являє собою систему координат, пов'язану з осями Резаля гіровертикалі.

Відповідно до рис. 2 вирази для кутових швидкостей платформи набувають вигляду:

$$\begin{aligned} \omega_{xp} &= \dot{\beta} \cos \gamma + \dot{\alpha} \cos \beta \sin \gamma; \\ \omega_{yp} &= \dot{\alpha} \cos \beta \cos \gamma - \dot{\beta} \sin \gamma; \\ \omega_{zp} &= \dot{\gamma} - \dot{\alpha} \sin \beta. \end{aligned} \quad (6)$$

З виразів (6) можуть бути отримані співвідношення для визначення кутів α, β, γ .

Взагалі математична модель системи стабілізації та визначення курсу в режимі точного приведення до горизонту має включати:

- рівняння руху платформи та відповідні кінематичні співвідношення;
- рівняння руху гіроскопа із динамічним настроюванням [6];
- рівняння акселерометрів.

Тобто рівняння (5) мають доповнюватись сукупністю таких рівнянь:

$$\begin{aligned} \dot{\alpha} &= (\omega_{xp} \sin \gamma + \omega_{yp} \cos \gamma) / \cos \beta; \\ \dot{\beta} &= \omega_{xp} \cos \gamma - \omega_{yp} \sin \gamma; \\ \dot{\gamma} &= \omega_{zp} + \text{tg} \beta (\omega_{xp} \sin \gamma + \omega_{yp} \cos \gamma); \\ \ddot{\alpha}_g &= (-d\dot{\alpha}_g + H\ddot{\beta}_g + H/T_g \dot{\beta}_g - c\alpha_g + H_1\omega_{xp} - k_3\delta_1) / J_g; \\ \ddot{\beta}_g &= (-d\dot{\beta}_g - H\dot{\alpha}_g - H/T_g \dot{\alpha}_g - c\beta_g - H_1\omega_{yp} - k_4\delta_2) / J_g; \\ \dot{\delta}_1 &= (-\delta_1 + k_5\beta) / T; \end{aligned}$$

$$\dot{\delta}_2 = (-\delta_2 + k_6\alpha) / T;$$

$$H_1 = H(1 - 10^{-3}),$$

де δ_1, δ_2 – вихідні сигнали акселерометрів;

T – стала часу акселерометрів;

J_g – сума екваторіальних моментів ротора та карданової рамки гіроскопа;

d – коефіцієнт демпфірування;

H – кінетичний момент гіроскопа;

T_g – стала часу гіроскопа;

c – остаточна жорсткість карданового підвісу; $\omega_{xp}, \omega_{yp}, \omega_{zp}$ – проекції кутової швидкості платформи на її власні осі.

Однією з найважливіших проблем створення системи зазначеного типу є вибір оптимальних законів управління, що відповідно потребує дослідження навігаційних контурів системи. З огляду на цільове призначення системи проблема моделювання полягає у необхідності вивчення тривалих за часом режимів роботи системи, у т. ч. точного приведення до горизонту та визначення курсу. З метою окремого дослідження навігаційних та стабілізаційних контурів платформної системи пропонується такий підхід. Для детального дослідження навігаційних контурів система стабілізації платформи може вважатися ідеальною, а математичний опис навігаційних контурів створюється на підставі моделей гіроскопів із динамічним настроюванням із детальним урахуванням усіх моментів прямих частин, у т. ч. зумовлених прискореннями, та кінематичних співвідношень системи. У цьому випадку рішення руху гіроскопів з точністю до похибок системи стабілізації та дрейфів гіроскопів збігаються з рівняннями руху платформи, як це запропоновано в праці [6]. Але там використовується та сама модель для дослідження різних режимів роботи. Це не має значення, якщо кутові розвороти в режимі гіроскопічного компаса вважати малими. Для довільних розворотів в азимуті слід відходити від кінематики того приладу, який є головним для розглядуваного режиму. Тому математична модель системи в режимі точного приведення до горизонту може бути складена на основі рівнянь, що описують кутовий рух гіровертикалі та одного з рівнянь вимірювача курсу, що описує кутовий рух вимірювача і відповідно системи в азимуті:

$$H_1\omega_{xp} = -M_{упр x}^g + H_1\Delta\omega_x;$$

$$H_1\omega_{yp} = M_{упр y}^g - H_1\Delta\omega_y;$$

$$H_1\omega_{zp} = -M_{упр z}^A + H_1\Delta\omega_z,$$

де H – кінетичний момент ротора гіроскопа;
 ω_{xp}, ω_{yp} – проекції горизонтальної складової
 кутової швидкості платформи на її власні осі;
 $M_{упр x}^r, M_{упр y}^r, M_{упр z}^A$ – моменти управління;
 $\Delta\omega_x, \Delta\omega_y, \Delta\omega_z$ – дрейфи гіроскопів.

Математична модель системи в режимі гіроскопичного компаса може бути визначена на підставі рівнянь, що описують кутовий рух гіроскопичного вимірника курсу та рівняння гіровертикалі, що характеризує кутове відхилення гіровертикалі та відповідно усієї системи в площині горизонту відносно осі Ox_n :

$$H_1\omega_{xp} = M_{кор x}^A - H\Delta\omega_x;$$

$$H_1\omega_{yp} = M_{кор y}^r - H\Delta\omega_y;$$

$$H_1\omega_{zp} = -M_{кор z}^A + H\Delta\omega_z.$$

Зазвичай кутове положення платформи системи стабілізації та визначення курсу рухомого об'єкта визначається в системі координат $O\xi_1\eta_1\zeta_1$, розгорнутій відносно географічної системи координат $O\xi\eta\zeta$ на кут A_0 . У початковий момент часу кут між діаметральною площиною об'єкта та поздовжньою віссю платформи становить $(k_0 - A_0)$, де k_0 – курс об'єкта, A_0 – азимут платформи. Положення системи координат $Ox_n y_n z_n$, пов'язаної з платформою, відносно системи координат $O\xi_1\eta_1\zeta_1$ визначається поворотами на малі кути α, β, γ відповідно. При цьому вважається, що у вихідному положенні осі платформи збігаються з осями чутливості розміщених на ній акселерометрів. Точність приведення платформи до горизонту визначається кутами β і γ , а відхилення платформи від площини меридіана або початкового азимута платформи A_0 – кутом α . Проекції кутових швидкостей платформи на її власні осі з урахуванням малості кутів α, β, γ набувають вигляду:

$$\omega_{xp} = \dot{\beta} - \dot{\alpha}\gamma + \omega_{\xi 1} \cos \alpha + \omega_{\eta 1} \sin \alpha - \omega_{\zeta 1} \gamma;$$

$$\omega_{yp} = \dot{\gamma} + \dot{\alpha}\beta - \omega_{\xi 1} \sin \alpha + \omega_{\eta 1} \cos \alpha - \omega_{\zeta 1} \beta;$$

$$\omega_{zp} = \dot{\alpha} + \dot{\gamma}\beta + \omega_{\xi 1} \gamma - \omega_{\eta 1} \beta + \omega_{\zeta 1},$$

де $\omega_{\xi 1}, \omega_{\eta 1}, \omega_{\zeta 1}$ – проекції кутових швидкостей платформи на осі системи координат $O\xi_1\eta_1\zeta_1$. Проекції $\omega_{\xi 1}, \omega_{\eta 1}, \omega_{\zeta 1}$ можуть бути визначені

через кутові швидкості платформи у географічній системі координат $O\xi\eta\zeta$ у такий спосіб:

$$\omega_{\xi 1} = \omega_{\xi} \cos A_0 - \omega_{\eta} \sin A_0;$$

$$\omega_{\eta 1} = \omega_{\eta} \cos A_0 + \omega_{\xi} \sin A_0; \quad \omega_{\zeta 1} = \omega_{\zeta}.$$

Після підстановки виразів, що визначають кутові швидкості $\omega_{\xi 1}, \omega_{\eta 1}, \omega_{\zeta 1}$, урахування малості кутів β, γ , відкидання малих членів та застосування основних формул тригонометрії, вирази для визначення проекцій кутової швидкості на її власні осі набувають вигляду:

$$\omega_{xp} = \dot{\beta} - \dot{A}\gamma + \omega_{\xi} \cos(A_0 - A) - \omega_{\eta} \sin(A_0 - A) - \omega_{\zeta} \gamma;$$

$$\omega_{yp} = \dot{\gamma} + \dot{A}\beta + \omega_{\xi} \sin(A_0 - A) + \omega_{\eta} \cos(A_0 - A) + \omega_{\zeta} \beta;$$

$$\omega_{zp} = \dot{A} + \dot{\beta}\gamma + \omega_{\xi} \cos A_0 \cos A\gamma + \omega_{\xi} \cos A_0 \sin A\beta - \omega_{\eta} \sin A_0 \cos A\gamma - \omega_{\eta} \sin A_0 \sin A\beta + \omega_{\eta} \cos A_0 \sin A\gamma - \omega_{\eta} \cos A_0 \cos A\beta + \omega_{\xi} \sin A_0 \sin A\gamma - \omega_{\xi} \sin A_0 \cos A\beta + \omega_{\zeta}.$$

До особливостей системи досліджуваного класу, які необхідно враховувати під час створення її математичного опису, належить розділення функцій управління та коректування. Управління стабілізованою платформою здійснюється за допомогою двигунів стабілізації, а коректування положення головної осі гіровертикалі здійснюється за сигналами акселерометрів. Таке розділення забезпечує відносно невеликі за величиною моменти корекції, що подаються на датчики моментів гіроскопів із динамічним настроюванням. У таких системах доцільно використовувати інтегральну корекцію, адже це забезпечує незбуреність зовнішніми прискореннями, хоча і дещо ускладнює механізм формування моментів корекції. Крім того, слід формувати моменти корекції внаслідок обертання Землі, використовувати засоби зовнішньої корекції.

Модель системи визначення курсу в режимі гіроскопичного компаса з урахуванням виразів для кутових швидкостей платформи та моментів управління є такою:

$$H_1\omega_{xp} = M_{кор z1}^A + M_{кор z2}^A + M_{кор z3}^A + H\Delta\omega_x;$$

$$H_1\omega_{yp} = M_{кор y1}^A + M_{кор y2}^A + H\Delta\omega_y;$$

$$H_1\omega_{zp} = M_{кор x1}^A + M_{кор x2}^A + M_{кор x3}^A + H\Delta\omega_z;$$

$$M_{\text{кор } z1}^A = -k_{12} \frac{W_y}{g}; \quad M_{\text{кор } z2}^A = -H_1 \omega_\xi = \frac{V_N}{R_2};$$

$$M_{\text{кор } z3}^A = -\frac{k_A k_\Pi k_{\text{ШИМ}} k_{\text{ДМ}} k_I}{R} \int_t^{t+\Delta t} W_y dt;$$

$$M_{\text{кор } y1}^A = -k_\gamma W_x / g;$$

$$M_{\text{кор } y1}^A = -\frac{k_A k_\Pi k_{\text{ШИМ}} k_{\text{ДМ}} k_I}{R} \int_t^{t+\Delta t} W_x dt;$$

$$M_{\text{кор } x1}^A = k_{13} \frac{W_y}{g}; \quad M_{\text{кор } x2}^A = H_1 \left(\Omega \sin \varphi + \frac{V_E}{R_1} \text{tg} \varphi \right),$$

де k_A – коефіцієнт передачі акселерометра;
 k_Π – коефіцієнт передачі підсилювача;
 $k_{\text{ШИМ}}$ – коефіцієнт передачі широтно-імпульсного модулятора;
 $k_{\text{ДМ}}$ – коефіцієнт передачі датчика моменту;
 k_I – коефіцієнт інтегральної корекції.

Для сучасних систем характерне використання обчислювальної техніки. З одного боку, це дозволяє реалізовувати складні алгоритми управління, а з другого – ускладнює контури управління і підтверджує необхідність їх окремого вивчення за умови спрощення математичної моделі системи в цілому. Існує також проблема визначення дискретного інтервалу оброблення навігаційної інформації, від якої залежить структура обчислювача, і цю проблему необхідно розв’язувати на ранніх етапах. Для розв’язання цієї проблеми треба доповнювати математичний опис моделями каналів формування інформації в системі.

Структурну схему моделі каналу керування двигунами стабілізації подано на рис. 4.



Рис. 4. Структурна схема моделі каналу формування моментів керування двигунами стабілізації: АЦП – аналого-цифровий пристрій

Структурну схему моделі каналу формування інформації про прискорення з урахуванням електронних пристроїв подано на рис. 5.

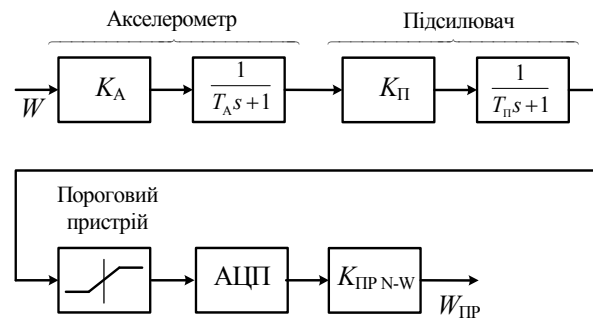


Рис. 5. Структурна схема моделі каналу формування інформації про прискорення платформи

Висновки

Подані підходи до створення математичного опису дозволяють отримати повну математичну модель системи стабілізації та визначення курсу з урахуванням різноманітності режимів її роботи, кутового руху платформи, на якій встановлено датчики навігаційної інформації, та особливостей управління системою в зазначених режимах. Наявність такої моделі забезпечує розв’язання таких проблем, як досягнення високої точності стабілізації та визначення курсу і вибір дискретності обробки навігаційної інформації вже на ранніх етапах створення систем зазначеного класу.

Література

1. Нестеренко О.И., Аврутов В.В. Математическая модель малогабаритного корректируемого гироскопа с динамически настраиваемым гироскопом // Вестн. КПИ. Приборостроение. – К., 1995. – Вып. 24. – С. 24–33.
2. Збруцький О.В., Нестеренко О.И., Шевчук А.В. Математична модель однієї схеми курсокренопоказчика // Механіка гіроскопічних систем. – К., 2001–2002. – Вып. 17–18. – С. 154–167.
3. Суценько О.А. Особливості управління системою визначення курсу в режимі точного приведення до горизонту // Вісн. НАУ. – 2004. – №4. – С. 29–32.
4. Суценько О.А. Особливості управління системою визначення курсу в режимі попереднього приведення до горизонту // Вісн. НАУ. – 2004. – №3. – С. 86–89.
5. Павловский М. А. Теория гироскопов. – К.: Вища шк., 1986. – 304 с.
6. Брозгуль Л.И. Динамически настраиваемые гироскопы. – М.: Машиностроение, 1989. – 232 с.